

MODELAGEM COMPUTACIONAL E ENSAIOS DE JUNTAS COLADAS EM MADEIRA-EPÓXI

Luiz Gustavo de Lima Previero

Prof. Dr. Marcelo Leite Ribeiro

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil

luiz.gustavo.previero@usp.br

Objetivos

As juntas coladas tem se tornado progressivamente mais populares nas últimas décadas como método de fabricação de objetos em larga escala, sobretudo em estruturas críticas e de alta performance, como o *airframe* de aeronaves, em que se preza por leveza, alta resistência mecânica e durabilidade contra corrosão e fadiga. Em vista das possibilidades promissoras oferecidas pelas juntas coladas e motivado pela construção de um avião amador, modelo *Volkswagen VP-1*, em madeira Freijó e resina epóxi, o presente projeto se dedicará à simulação em elementos finitos, construção e ensaio de uma *Single-Lap Joint* nos referidos materiais, bem como à comparação dos resultados obtidos de cada método de estudo.

Métodos e Procedimentos

Inicialmente, foi realizado um estudo teórico sobre Mecânica da Fratura, com enfoque nos mecanismos de nucleação e propagação de trincas. Foi estudada também a formulação do Método dos Elementos Finitos para sólidos, optando-se pela modelagem da madeira Freijó enquanto material ortotrópico, e do adesivo epóxi através do Modelo de Zona Coesiva (CZM).^[1] Para o modelo numérico, foi escolhido o pacote de elementos finitos ABAQUS®.

Da revisão bibliográfica, foram definidos os seguintes testes para caracterização dos materiais: para as amostras de Freijó, foram realizadas flexões de 3 pontos (NBR 7190)^[2], visando a obtenção de suas constantes elásticas pertinentes; e para o adesivo (Resina 2025 Redelease), foram fabricados e ensaiados em tração corpos de prova do tipo *dogbone* (ASTM D638)^[3], visando seu módulo de elasticidade, tensão de ruptura e energia absorvida.

Os dados obtidos dos ensaios foram então tratados e compilados através do *software*

MATLAB®, sendo inseridos nos modelos computacionais finais em FEA. Em paralelo, foi iniciada a fabricação de espécimes das juntas de interesse, com espessuras de adesivo de 0,2mm e 0,4mm, buscando explorar o efeito da variação desse parâmetro em sua resistência.

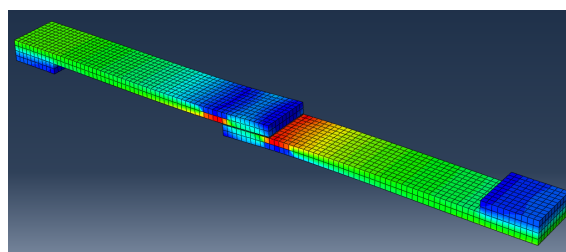


Figura 1: Modelo 3D em FEA da Single-Lap Joint.

Finalmente, os espécimes das SLJs foram ensaiados em tração e seus dados coletados, tratados e compilados para comparação com as saídas das simulações numéricas.

Resultados

Valendo-se da solução de deslocamento máximo para a viga bi-apoiada com carga *P* centralizada, presente na Equação 1:

$$\nu_{max} = \frac{Pl^3}{48EI} \quad (1)$$

e usando-se dos dados dos testes de flexão dos espécimes de madeira, foi possível estimar o módulo de elasticidade longitudinal do Freijó. Através da estatística fornecida pela literatura^[4], derivou-se os demais coeficientes elásticos do material, compilados na Tabela 1:

Tabela 1: Coeficientes Elásticos do Freijó

<i>i</i>	1 (<i>L</i>)	2 (<i>R</i>)	3 (<i>T</i>)
<i>E_i</i> [MPa]	17.816, 0	2.037, 0	1.014, 3
<i>ij</i>	12	13	23
<i>ν_{ij}</i> [adim]	0, 3713	0, 4668	0, 7033
<i>G_{ij}</i> [MPa]	1.589, 2	1.186, 0	315, 6

Para a caracterização da resina, os resultados dos testes de tração foram tratados (Figura 2), e deles derivou-se as propriedades mecânicas do adesivo, construindo-se então as leis triangulares de tração-separação necessárias ao CZM.

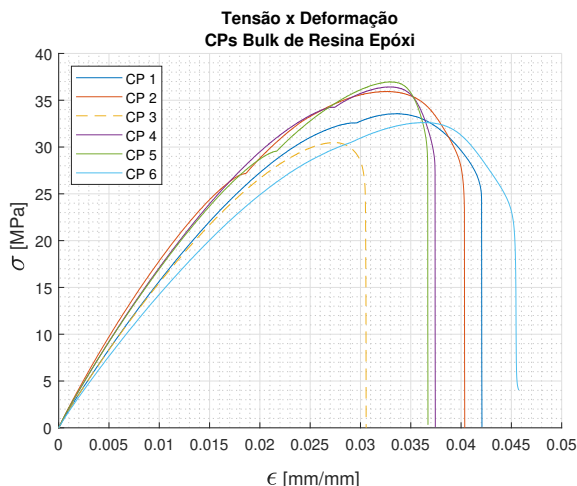


Figura 2: Resultados dos ensaios de tração da resina

Os modelos finais consideram geometria não-linear e se dividem em 0,2mm ou 0,4mm de espessura: as versões 2D usam 140 elementos CPE4R, lineares, de 4 nós e deformação plana para os aderentes, e 31 a 50 elementos COH2D4, lineares, de 4 nós e coesivos para o adesivo; já as versões 3D usam 1400 elementos C3D8R, lineares, de 8 nós para os aderentes, e 961 a 2500 elementos COH3D8, lineares, de 8 nós e coesivos para o adesivo.

Finalmente, os dados de saída das simulações e os resultados dos ensaios das SLJs foram contrastados, gerando os seguintes gráficos:

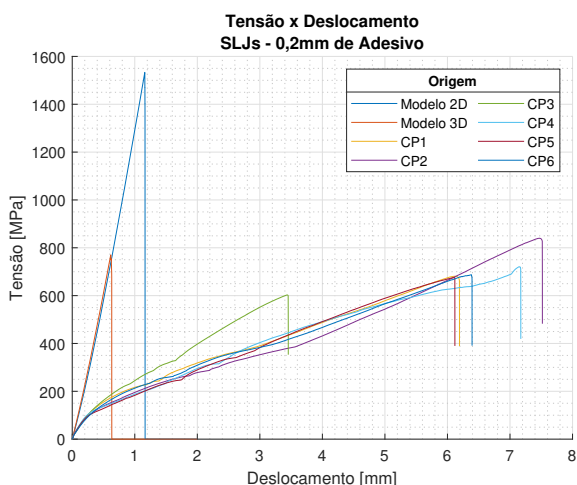


Figura 3: Resultados das SLJs - 0,2mm de Adesivo.

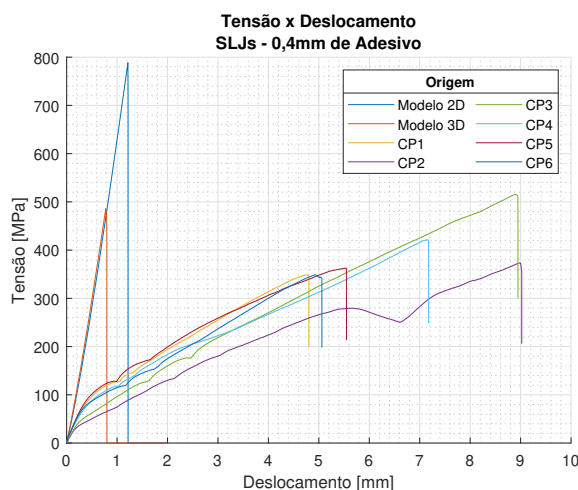


Figura 4: Resultados das SLJs - 0,4mm de Adesivo.

Conclusões

Da observação dos resultados, conclui-se, primeiramente, que a tensão máxima suportada por uma junta colada decresce com a espessura do adesivo, resultado corroborado pela literatura. Conclui-se também que a propagação de dano na interface adesiva é altamente dependente de efeitos associados a tridimensionalidade, fazendo com que os modelos 3D resistam a tensões consideravelmente menores que seus equivalentes 2D.

Posteriormente, percebe-se também que o modelo de zona coesiva, aplicado ao caso 3D, é adequado para a previsão da tensão máxima suportada pelas juntas, apresentando erros de aproximadamente 9,0% para os espécimes com 0,2mm de adesivo, e 18,7% para aqueles com 0,4mm. No entanto, o modelo não foi capaz de prever adequadamente o deslocamento na ruptura, errando para menos por um fator de 5 a 10 a depender da amostra considerada.

Referências Bibliográficas

- [1] Fernando Madureira. *Fabricação e Controle de Espessura de Juntas Coladas Single Lap Joint: Caracterização Mecânica dos Aderentes e do Adesivo*. Ms. thesis, EESC, 2018.
- [2] ABNT NBR 7190-3. Projeto de estruturas de madeira, 2022.
- [3] ASTM D638. Standard test method for tensile properties of plastics, 2010.
- [4] David W. Green, Jerrold E. Winandy, and David E. Kretschmann. *Mechanical Properties of Wood*, book section 4. 1999.